

令狐克川,张瑞强,张 干,等.植物甾醇对中华绒螯蟹生长性能、血清生化指标、体成分和抗氧化能力的影响[J].江苏农业科学,2019,47(18):204-208.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.18.044

植物甾醇对中华绒螯蟹生长性能、血清生化指标、体成分和抗氧化能力的影响

令狐克川¹,张瑞强¹,张 干¹,姜 滢²,温 超¹,周岩民¹

(1.南京农业大学动物科技学院,江苏南京 210095;2.江苏金康达集团,江苏盱眙 211700)

摘要:为了探究植物甾醇对中华绒螯蟹生长性能、血清生化指标、体成分和抗氧化功能的影响,选用规格相近的中华绒螯蟹 360 只,随机分 4 组,每组 5 个重复,每个重复 18 只蟹,分别饲喂在基础饲料中添加 0、25、50、100 mg/kg 植物甾醇的试验日粮。结果表明,与对照组相比,50 mg/kg 植物甾醇添加组可提高中华绒螯蟹生长性能,且有降低中华绒螯蟹血清总胆固醇水平含量的趋势($P=0.081$);50、100 mg/kg 植物甾醇添加组可食内脏丙二醛(MDA)含量显著低于对照组($P<0.05$),过氧化氢酶(CAT)活性显著高于对照组($P<0.05$)。雄蟹可食内脏中的总胆固醇含量低于雌蟹,而粗蛋白含量高于雌蟹。由此可知,植物甾醇可在一定程度上提高中华绒螯蟹的生产性能且降低中华绒螯蟹血清总胆固醇含量,改善可食内脏的抗氧化能力,50 mg/kg 为适宜添加水平;与雌蟹相比,雄蟹可食内脏总胆固醇含量较低,而粗蛋白含量较高。

关键词:植物甾醇;中华绒螯蟹;生长性能;血清生化指标;体成分;抗氧化

中图分类号:S966.163 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)18-0204-05

植物甾醇,又称植物固醇,属植物性甾体化合物,是植物细胞膜的组成部分,为具有多种生理活性的三萜烯^[1-2]。植物甾醇在以游离形式和酯化形式存在于坚果、谷物、豆类和植物种子等的油脂中^[3-4]。植物甾醇的结构与动物性甾醇(胆固醇)的结构基本相似,均以环戊烷全氢菲为骨架,属于 4-无甲基甾醇,具有相同的手性结构,两者在侧链上的结构差异造成了生理功能不同^[5]。植物甾醇能抑制胆固醇在肠道中的吸收或影响肝/胆的胆固醇代谢,可降低血液中的胆固醇^[6],并具有调节生长、抗氧化和消炎退热等功效^[7]。近年,已出现对某些植物甾醇饲料中的应用研究。张严伟等研究表明,基础日粮中添加 40、80 mg/kg 植物甾醇能显著提高团头鲂的质量增加率和特定增长率^[8]。候艳君等的研究结果显示,植物甾醇能使异育银鲫血浆胆固醇含量显著降低^[9]。顾莞婷等发现,植物甾醇可降低肉鸭血清的胆固醇含量,提高机体抗氧化酶活性^[10]。我国农业部于 2008 年批准植物甾醇为饲料添加剂,2010 年我国批准其为新资源食品^[11-12]。

中华绒螯蟹,又称大闸蟹,是我国经济蟹类之一,营养丰富、味道鲜美,深受广大消费者青睐,我国大闸蟹产量从 2004 年的 42.5 万 t 增长至 2015 年的 82.33 万 t,在水产养殖中占有重要地位^[13-14]。胆固醇是各种海水甲壳类动物所必需的营养素。汪留全等研究发现,饲料中添加 0.2% 胆固醇有利于幼蟹的生长,还能有效提高幼蟹对饲料的利用率^[15]。饲料

中胆固醇不足或过多都会造成三疣梭子蟹生长性能下降^[16]。目前,植物甾醇对鱼类胆固醇代谢的影响已有研究报道,但其对中华绒螯蟹生长及胆固醇代谢的影响未见报道。本研究以中华绒螯蟹为试验对象,研究植物甾醇对中华绒螯蟹生长性能、血清生化、体成分和抗氧化功能的影响,旨在为植物甾醇在蟹类饲料中的合理应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 植物甾醇 试验用植物甾醇由宜春大海龟生命科学有限公司提供,主要成分为谷甾醇、豆甾醇、菜籽甾醇等,有效成分含量为 95%。

1.1.2 试验动物 试验用中华绒螯蟹,由江苏金康达集团提供,初体质量为 (3.00 ± 0.05) g。

1.2 试验设计与日粮

本试验于 2017 年 7 月 11 日至 9 月 5 日在江苏盱眙金康达集团试验场进行,选用规格相近的中华绒螯蟹 360 只随机分为 4 组,每组 5 个重复,每个重复 18 只(公母各半),设置饲喂基础日粮(表 1)的对照组和分别添加 25、50、100 mg/kg 的植物甾醇的试验组,进行 8 周试验。

1.4 饲养管理

试验蟹在水族箱(直径 100 cm,高 80 cm)中饲养,每个水族箱为 1 个重复,试验用水为池塘水。试验开始 7 d 前,将水注入水族箱,种植水花生,等水花生成活,水质符合养殖用水要求后放入试验蟹,投放前进行称体质量,保证各水族箱中的试验蟹平均质量相近。每天投饲 2 次,投饲量约为蟹总质量 5%,其中 07:30 投饲 1/3,17:00 投饲 2/3,以不剩或略剩为宜。每天吸污,加注新水,换水量约为总水量的 1/3,定时充

收稿日期:2018-05-11

作者简介:令狐克川(1995—),女,贵州黔南人,硕士研究生,从事动物营养与饲料加工研究。E-mail:201780514@njau.edu.cn。

通信作者:周岩民,教授,从事饲料加工与饲料科学研究。E-mail:zhouym6308@163.com。

表 1 基础日粮组成及营养水平

原料	含量 (%)	营养水平	含量
鱼粉	21.86	总能 (MJ/kg)	17.35
虾粉	8.72	粗蛋白质 (%)	39.27
豆粕	16.15	粗灰分 (%)	17.95
菜粕	15.21	水分 (%)	11.13
棉粕	13.53		
面粉	20.32		
大豆油	2.12		
碳酸氢钙	2.09		
食盐	0.40		
预混料 1	1.00		
合计	100.00		

注:预混料可为 1 kg 饲料提供 Cu 20 mg、Fe 25 mg、Mg 12 mg、Mn 26 mg、Zn 80 mg、Se 0.16 mg、I 0.45 mg、Co 0.6 mg、维生素 A 10 000 IU、维生素 E 100 mg、维生素 C 100 mg、叶酸 5 mg、维生素 D 2 500 IU、维生素 K 2.2 mg、维生素 B₁ 3.2 mg、维生素 B₂ 15 mg、维生素 B₆ 10.0 mg、维生素 B₁₂ 0.016 mg、胆碱 600 mg、生物素 0.15 mg、肌醇 200 mg。

氧。饲养期间观察并记录脱壳与螃蟹死亡数。

1.5 样品采集

试验过程中记录每个水族箱中蟹的脱壳次数,在试验结束(第 8 周末)时对每个水族箱中的试验蟹分别进行计数、称质量。放置于冰上麻醉后对试验蟹称质量(公母各半),然后采用 1 mL 经 Acd-b 抗凝剂润洗后的注射器于爪部采集血液,4 000 r/min 离心 10 min 分离血清后分装于小离心管中,于 -20 ℃ 保存待测。然后迅速分离可食内脏(肝胰腺和性腺)和腹部、腿部肌肉,收集于冻存管中, -80 ℃ 冰箱保存待测。

1.6 测定指标及方法

1.6.1 生长性能 试验期间,记录中华绒螯蟹的死亡数与脱壳数。试验结束后,测定初质量、末质量及采食量等指标,生长性能指标以增质量率、特定生长率、饵料系数、平均脱壳次数等表示,计算方法如下:

特定生长率(SGR) = $100 \times (\ln \text{末质量} - \ln \text{初质量}) / \text{饲养时间}$;

饵料系数(FCR) = 饲料消耗量/增质量;

平均脱壳次数 = 总脱壳次数/螃蟹总数。

1.6.2 血清生化指标测定 血清中总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、尿素氮(UREA)、甘油三酯(TG)及总胆固醇(TC)含量采用全自动生化分析仪(日立 7100)测定,所用试剂盒购自上海科华生物工程股份有限公司。

1.6.3 体成分测定 参考国家标准 GB/T 14772—2008《食品中粗脂肪的测定》中的规定操作,采用索氏提取法测定螃蟹粗脂肪(CF)含量;粗蛋白(CP)含量采用凯氏定氮仪测定;总胆固醇含量采用试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定,操作按照说明书进行。

1.6.4 肝脏和肌肉抗氧化能力测定 丙二醛(MDA)含量、总抗氧化能力(T-AOC)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性和过氧化氢酶(CAT)活性采用试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定,其中 MDA 含量采用硫代巴比妥酸方法测定,具体操作步骤参照 Ma 等的方法^[17],SOD 活性参考 Ertekin 等的方法^[18]测定,CAT 活性参照 Firat 等的方法^[19-20]进行测定,T-AOC 采用比色法测定。

1.7 数据统计分析

试验数据经 Excel 2007 初步整理后采用 SPSS 软件进行统计,生产性能数据采用 One-way ANOVA 程序进行单因素方差分析,其他数据采用一般线性模型(GLM)进行双因素方差分析,模型包括植物甾醇添加量、性别及二者互作,以 $P < 0.05$ 为差异显著性水平, $0.05 < P < 0.1$ 表示具有显著差异趋势,当差异显著后再用 Duncan's 法比较各组间差异,数据以“平均值 ± 标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 植物甾醇对中华绒螯蟹生长性能的影响

由表 2 可知,日粮添加植物甾醇对中华绒螯蟹生长性能无显著影响($P > 0.05$)。但与对照组相比,50、100 mg/kg 植物甾醇添加组的末均质量分别提高 13.54%、9.31% ($P > 0.05$),特定生长率分别提高 7.3% 和 4.7% ($P > 0.05$),饵料系数分别降低了 11.38% 和 2.44% ($P > 0.05$)。

表 2 植物甾醇对中华绒螯蟹生产性能的影响

植物甾醇添加量 (mg/kg)	末均质量 (g)	特定生长率 (%)	饵料系数	平均脱壳次数 (次)
0	16.10	3.00	1.23	1.21
25	16.05	2.99	1.33	1.22
50	18.28	3.22	1.09	1.23
100	17.60	3.14	1.20	1.15
标准差	0.51	0.05	0.06	0.07
<i>P</i> 值	0.339	0.361	0.588	0.986

2.2 植物甾醇对中华绒螯蟹血清生化指标的影响

由表 3 可知,日粮中添加植物甾醇对中华绒螯蟹血清中的 TP、ALB、UREA、TG 含量无显著影响($P > 0.05$)。添加 50、100 mg/kg 植物甾醇使血清中的 TC 含量显著降低($P < 0.05$)。

2.3 植物甾醇对中华绒螯蟹体成分的影响

由表 4 可知,日粮中添加植物甾醇对中华绒螯蟹可食内脏和肌肉的 CP、CF 及 TC 含量无显著影响($P > 0.05$)。雄蟹

可食内脏 TC 含量显著低于雌蟹($P < 0.05$),而 CP 含量则显著高于雌蟹($P < 0.05$)。

2.4 植物甾醇对中华绒螯蟹可食内脏抗氧化能力的影响

由表 5 可知,与对照组相比,日粮中添加植物甾醇 50、100 mg/kg 使可食内脏 MDA 含量显著降低($P < 0.05$),CAT 活性显著提高($P < 0.05$)。性别对可食内脏抗氧化能力无显著影响($P > 0.05$)。

表 3 植物甾醇对中华绒螯蟹血清生化指标的影响

项目	植物甾醇添加量 (mg/kg)	TP 含量 (g/L)	ALB 含量 (g/L)	UREA 含量 (mmol/L)	TG 含量 (mmol/L)	TC 含量 (mmol/L)
雄	0	77.58	5.02	2.42	0.37	1.00
	25	86.96	5.95	2.74	0.50	0.95
	50	71.79	5.25	2.14	0.39	0.78
	100	84.33	5.51	2.96	0.46	0.8
雌	0	82.53	5.81	2.75	0.58	1.16
	25	72.97	5.54	2.35	0.50	0.82
	50	73.54	5.33	2.91	0.48	0.84
	100	75.75	6.27	2.96	0.59	0.81
标准差		3.36	0.31	0.16	0.04	0.04
主效应性别	雄	80.17	5.43	2.57	0.43	0.88
	雌	76.20	5.74	2.74	0.54	0.91
主效应植物甾醇添加量	0	80.06	5.42	2.58	0.48	1.08
	25	79.96	5.74	2.55	0.50	0.89
	50	72.66	5.29	2.53	0.44	0.81
	100	80.04	5.89	2.96	0.53	0.80
P 值	性别	0.584	0.658	0.614	0.183	0.774
	植物甾醇添加量	0.851	0.917	0.784	0.882	0.081
	性别 × 植物甾醇添加量	0.768	0.907	0.679	0.814	0.683

表 4 植物甾醇对中华绒螯蟹体成分的影响

项目	植物甾醇添加量 (mg/kg)	可食内脏			肌肉		
		CP 含量(%)	CF 含量(%)	TC 含量(%)	CP 含量(%)	CF 含量(%)	TC 含量(%)
雄	0	12.60ab	0.19	0.07abc	20.65	0.90	0.05
	25	12.86ab	0.18	0.06c	19.97	0.91	0.05
	50	13.76a	0.18	0.07bc	19.93	0.90	0.05
	100	13.56a	0.19	0.07bc	20.07	0.83	0.05
雌	0	10.32b	0.22	0.10a	20.05	0.93	0.05
	25	12.01ab	0.23	0.08abc	19.80	0.92	0.05
	50	12.12ab	0.21	0.10a	20.31	1.04	0.04
	100	12.21ab	0.22	0.09ab	20.15	0.91	0.04
标准差		0.33	0.01	0.00	0.14	0.05	0.00
主效应性别	雄	13.19	0.19	0.07	20.16	0.89	0.05
	雌	11.67	0.22	0.09	20.08	0.95	0.05
主效应植物甾醇添加量	0	11.46	0.21	0.09	20.35	0.91	0.05
	25	12.44	0.21	0.07	19.89	0.92	0.05
	50	12.94	0.20	0.08	20.12	0.97	0.05
	100	12.88	0.20	0.08	20.11	0.87	0.05
P 值	性别	0.024	0.060	<0.001	0.803	0.523	0.228
	植物甾醇	0.359	0.981	0.509	0.766	0.920	0.939
	性别 × 植物甾醇	0.886	0.972	0.910	0.721	0.975	0.966

2.5 植物甾醇对中华绒螯蟹肌肉抗氧化能力的影响

由表 6 可知,随日粮中植物甾醇添加量的提高,中华绒螯蟹肌肉 CAT 活性有提高趋势($P=0.058$)。雄蟹肌肉 SOD 活性显著低于雌蟹($P<0.05$),而 CAT 活性显著高于雌蟹($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 植物甾醇对中华绒螯蟹生长性能的影响

植物甾醇是一种植物活性成分,其在动物体内能改善机体生长情况^[20]。吴先华等研究发现,日粮中添加 150、200 mg/kg 植物甾醇可显著提高育肥猪日采食量、日增质

量^[21]。陈颀等亦报道,植物甾醇可提高肥育猪生长性能且有改善肥育猪肉质的趋势^[22]。贾代汉等研究表明,在日粮中添加 15、30 mg/kg 植物甾醇可提高肉鸡平均日增质量和饲料转化率^[23]。本试验研究显示,当日粮中植物甾醇添加量为 50 mg/kg 时,中华绒螯蟹的末均质量、特定生长率最大,饵料系数最低;但植物甾醇添加量为 100 mg/kg 时,中华绒螯蟹的生长性能有所下降。这与何昭友报道的肥育猪生长性能随植物甾醇添加量增加而提高的结果^[24]不一致,可能是由于动物品种、生长阶段的差异所致。

3.2 植物甾醇对中华绒螯蟹血清生化指标的影响

胆固醇是胆汁酸及其盐类、类固醇激素和它们的衍生物

表 5 植物甾醇对中华绒螯蟹可食内脏抗氧化能力的影响

项目	植物甾醇添加量 (mg/kg)	MDA 含量 (nmol/mg)	SOD 活性 (U/mg)	T - AOC 能力 (U/mg)	CAT 活性 (U/mg)
雄	0	4.79a	29.22	10.14	0.78ab
	25	3.54ab	31.86	10.69	0.91ab
	50	2.52b	33.27	11.29	0.98a
	100	3.83ab	31.98	12.05	0.92ab
雌	0	4.34a	24.43	10.07	0.75b
	25	3.31ab	28.13	12.01	0.80ab
	50	2.42b	27.15	12.61	0.92ab
	100	2.39b	32.78	13.82	0.93ab
标准差		0.23	1.13	0.49	0.03
主效应性别	雄	3.67	31.58	11.05	0.90
	雌	3.12	28.12	12.13	0.85
主效应植物甾醇添加量	0	4.57a	26.83	10.11	0.76b
	25	3.43ab	29.99	11.35	0.86ab
	50	2.47b	30.21	11.95	0.95a
	100	3.10b	32.38	12.94	0.93a
P 值	性别	0.170	0.138	0.289	0.317
	植物甾醇添加量	0.006	0.400	0.265	0.041
	性别 × 植物甾醇	0.617	0.729	0.924	0.823

表 6 植物甾醇对中华绒螯蟹肌肉抗氧化能力的影响

项目	植物甾醇添加量 (mg/kg)	MDA 含量 (nmol/mg)	SOD 活性 (U/mg)	T - AOC 能力 (U/mg)	CAT 活性 (U/mg)
雄	0	13.92	39.47b	6.98	1.19acd
	25	13.70	39.03b	8.62	1.28abc
	50	13.84	41.15b	8.15	1.44ab
	100	13.33	41.91b	7.97	1.49ab
雌	0	16.27	60.92a	7.08	0.74e
	25	15.68	63.54a	7.05	0.86de
	50	12.26	65.96a	7.15	0.98cde
	100	12.63	65.32a	7.61	1.09bcde
标准差		0.48	2.15	0.24	0.06
主效应性别	雄	13.70	40.39	7.93	1.35
	雌	14.21	63.94	7.22	0.92
主效应植物甾醇添加量	0	15.10	50.19	7.03	0.97
	25	14.69	51.29	7.83	1.07
	50	13.05	53.56	7.65	1.21
	100	12.98	53.61	7.79	1.29
P 值	性别	0.601	<0.001	0.151	<0.001
	植物甾醇添加量	0.291	0.630	0.622	0.058
	性别 × 植物甾醇	0.394	0.950	0.629	0.996

等生物活性物质的合成前体,其含量过多或过少都不利于动物健康^[25]。Law 等研究发现,1 ~ 2 g/d 游离植物甾醇或 1.6 ~ 3.2 g/d 酯化甾醇能显著降低人血清的 TC 和 LDL - C 含量^[26-27]。顾莞婷等研究表明,饲料中添加 20 mg/kg 植物甾醇能显著降低肉鸭血液中总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇含量^[28]。贾代汉等研究发现,20 mg/kg 植物甾醇添加组能显著降低肉仔鸡血清总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇含量^[23]。张严伟等报道,日粮中以添加 40 mg/kg 植物甾醇时降低团头鲂血浆低密度脂蛋白胆固醇效果最为明显^[8]。本试验结果与此类似,日粮中植物甾醇添加量为 50、100 mg/kg 的血清 TC 含量低于对照组,但 2 组之间无显著差异。有研究表明,植物

甾醇降胆固醇作用具有剂量依赖关系,达到最大降幅后,继续加大添加量则不能进一步降低胆固醇^[29]。植物甾醇降低血清胆固醇的机制可能是抑制胆固醇吸收或部分替代胆固醇溶于微团被肠细胞吸收进入血液^[30]。

3.3 植物甾醇对中华绒螯蟹体成分的影响

目前,关于植物甾醇对动物体成分影响的研究报道较少,所得结论也不一致。张严伟等研究表明,植物甾醇可提高团头鲂肌肉粗脂肪含量^[8]。顾莞婷等发现,与对照组比,植物甾醇明显提高肉鸭肌间脂肪含量,胸肌率略有提高^[10]。而何昭友则报道,添加不同植物甾醇水平对育肥猪屠宰率、瘦肉率、背膘厚、眼肌面积没有显著性影响^[24],本试验也得到了类

似结果,添加不同水平植物甾醇对中华绒螯蟹体成分、可食内脏和肌肉的 CP 和 CF 含量无显著影响,但性别对中华绒螯蟹可食内脏的 TC 和 CP 含量有影响,表现为雌性中华绒螯蟹可食内脏的 TC、CP 含量显著大于雄性中华绒螯蟹。这可能是由于不同性别的中华绒螯蟹组织结构差异所致^[31]。

3.4 植物甾醇对中华绒螯蟹可食内脏和肌肉抗氧化能力的影响

植物甾醇具有一定的抗氧化作用,陈茂彬等研究发现,植物甾醇乙酸酯和植物甾醇油酸酯能显著提高荷瘤小鼠红细胞 CAT 活性^[32]。张严伟等研究表明,植物甾醇可以提高团头鲂前期肝胰脏 SOD 和 CAT 的活性^[8]。本试验结果显示,日粮中添加植物甾醇 50、100 mg/kg 可显著降低可食内脏 MDA 含量,提高可食内脏 CAT 活性。随日粮中植物甾醇添加量的增加,中华绒螯蟹肌肉 CAT 活性有提高的趋势。刘慧琼等研究表明, β -谷甾醇具有清除羟自由基和抑制超氧阴离子的作用,这是植物甾醇具有抗氧化功能的原因之一^[33]。雄蟹肌肉 SOD 活性显著低于雌蟹,而 CAT 活性显著高于雌蟹,造成此差异的相关生理机制有待进一步研究。

4 结论

日粮中添加植物甾醇可一定程度上提高中华绒螯蟹的生长性能,有降低血清 TC 含量的趋势,且能提高中华绒螯蟹可食内脏和肌肉的抗氧化能力。50 mg/kg 为植物甾醇在中华绒螯蟹日粮中的适宜添加水平。此外,雄蟹可食内脏 TC 含量显著低于雌蟹,CP 含量显著高于雌蟹。

参考文献:

- [1] Okoli C O, Akah P A. Mechanisms of the antiinflammatory activity of the leaf extracts of *Culcasia scandens* P. Beauv (Araceae) [J]. Pharmacology Biochemistry and Behavior, 2004, 79(3): 473–481.
- [2] 韩军花, 杨月欣. 植物甾醇的性质、功能及应用[C]//第六届营养资源与保健食品学术会议暨第五届营养分析学术会议, 2002.
- [3] 谢心美, 郝海鑫, 何剑斌. 植物甾醇的生理功能及其应用[J]. 草业科学, 2013, 30(12): 2105–2109.
- [4] 张 斌, 郁 昕, 栗 磊, 等. 植物甾醇的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(1): 190–195.
- [5] 王 恬, 周岩民, 顾莞婷. 植物甾醇的生物学功能及其在动物生产中的应用[J]. 饲料与畜牧, 2009(1): 9–15.
- [6] 左春山, 刘大勇, 徐启杰, 等. 植物甾醇的结构与功能的研究进展[J]. 河南科技, 2013(17): 211–213.
- [7] 郭咪咪, 王瑛瑶, 栾 霞, 等. 植物甾醇的提取、生理功能及在食品中的应用综述[J]. 食品安全质量检测学报, 2014(9): 2771–2775.
- [8] 张严伟, 阮剑均, 温 超, 等. 植物甾醇对团头鲂生长、血脂和肝胰脏抗氧化功能的影响[J]. 水产科学, 2012, 31(4): 192–196.
- [9] 侯艳君, 侯晓莹, 鲁 菲, 等. 植物甾醇对异育银鲫生长及血脂含量的影响研究[C]//第六次全国饲料营养学术研讨会论文集, 2010.
- [10] 顾莞婷, 王 恬, 沈益新, 等. 植物甾醇对肉鸭胆固醇代谢和抗氧化性能的影响[J]. 畜牧与兽医, 2008, 40(1): 13–17.
- [11] 赵 岩, 唐国胜, 侯莹莹, 等. 植物甾醇酯合成工艺研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(2): 585–590.
- [12] 王 燕. 不同能量水平下植物甾醇对小鼠骨骼肌蛋白质代谢的

影响[D]. 无锡: 江南大学, 2015.

- [13] 江洪波. 中华绒螯蟹蛋白质营养生理研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2003.
- [14] 朱爱国, 严怀忠, 宋长太. 中华绒螯蟹三种养殖模式对比分析[J]. 科学种养, 2017(9): 50–52.
- [15] 汪留全, 李海洋, 胡 王, 等. 饲料中胆固醇水平对幼蟹生长和饲料利用率影响的研究[J]. 淡水渔业, 2004, 34(1): 13–15.
- [16] 韩 涛, 王骥腾, 胡水鑫, 等. 三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 幼蟹饲料中胆固醇的适宜添加量研究[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(6): 1524–1529.
- [17] Ma X, Lin Y, Jiang Z, et al. Dietary arginine supplementation enhances antioxidative capacity and improves meat quality of finishing pigs[J]. Amino Acids, 2010, 38(1): 95–102.
- [18] Ertekin M V, Koc M, Karlioglu I, et al. The effects of oral zinc sulphate during radiotherapy on anti-oxidant enzyme activities in patients with head and neck cancer: A prospective, randomised, placebo-controlled study[J]. International Journal of Clinical Practice, 2004, 58(7): 662–668.
- [19] Firat O, Kargin F. Effects of Zinc and Cadmium on erythrocyte antioxidant systems of a freshwater fish *Oreochromis niloticus*[J]. Journal of Biochemical and Molecular Toxicology, 2010, 24(4): 223–229.
- [20] 周宝兰. 植物甾醇的应用[J]. 中国油脂, 1992(4): 33–38.
- [21] 吴先华, 何若钢, 覃小荣, 等. 植物甾醇对生育肥猪生长性能、抗氧化能力及免疫功能的影响[J]. 中国饲料, 2013(16): 30–32, 36.
- [22] 陈 颀, 何若钢, 何昭友, 等. 植物甾醇对肥育猪生长性能及肉质的影响[J]. 饲料研究, 2013(11): 67–70.
- [23] 贾代汉, 周岩民, 王 恬. 植物甾醇对肉鸡血清胆固醇、蛋白质水平和抗氧化酶活性的影响[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(2): 88–93.
- [24] 何昭友. 植物甾醇对肥育猪生长性能、血清指标及猪肉品质的影响研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
- [25] 柳斐斐, 宋保亮. 胆固醇合成途径的负反馈调控机制[J]. 中国细胞生物学报, 2013, 35(4): 401–409.
- [26] Law M. Plant sterol and stanol margarines and health[J]. British Medical Journal, 2000, 320(7238): 861–864.
- [27] St. Jeor S T, schaefer E J, Meijer G W. Efficacy and dietary implications for the use of plant sterol-enriched foods to lower total and low-density lipoprotein cholesterol levels[J]. Topics in Clinical Nutrition, 2000, 15(4): 57–73.
- [28] 顾莞婷, 周岩民, 王 恬. 植物甾醇对肉鸭生产性能、血液胆固醇含量和胴体品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(3): 97–100, 106.
- [29] Ostlund R E. Phytosterols in human nutrition[J]. Annual Review of Nutrition, 2013, 2(2): 533–549.
- [30] 陈志飞, 高 芃, 徐海滨. 植物甾醇影响胆固醇代谢机制的研究进展[J]. 国外医学(卫生学分册), 2008, 35(6): 360–363.
- [31] 吴 萍, 楼允东, 邱高峰. 中华绒螯蟹性腺发育的形态学、组织学和组织化学变化[J]. 上海海洋大学学报, 2003, 12(2): 106–112.
- [32] 陈茂彬, 黄 琴. 植物甾醇乙酸酯和植物甾醇油酸酯抗肿瘤作用初探[J]. 粮食与油脂, 2005(1): 16–18.
- [33] 刘慧琼, 郭书好, 沈英森, 等. 半夏中 β -谷甾醇的抗氧化作用研究[J]. 广东药学院学报, 2004, 20(3): 281–283.